

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE
SÉRIE SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES
GÉNIE ÉLECTROTECHNIQUE

SESSION 2007

ÉPREUVE: ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS

Durée: 4 heures

Coefficient : 6

NACELLE ÉLÉVATRICE TURBO F7

AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISÉ

MOYENS DE CALCUL AUTORISÉS

Calculatrice électronique de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (conformément à la circulaire N°99-018 du 1 février 1999).

Ce sujet comprend 3 dossiers de couleurs différentes

- | | |
|---|--------------|
| - Dossier technique (DT1 à DT6) | jaune |
| - Dossier travail demandé (pages 1/7 à 7/7)..... | vert |
| - Documents réponses (DR1 à DR6) | blanc |

Les candidats rédigeront les réponses aux questions posées sur feuille de copie ou, lorsque cela est indiqué dans le sujet, sur les « documents réponses» prévus à cet effet.

Tous les documents "réponses" même vierges sont à remettre en fin d'épreuve.

DOSSIER TECHNIQUE

Ce dossier comporte 6 documents numérotés de DT1 à DT6

DT1 à DT2	Présentation, fonctionnement, fonction de service et schémas...
DT3	FAST partiel de la nacelle.
DT4	Cahier des charges fonctionnel.
DT5	Détail de la liaison entre le bâti et le mât vertical.
DT6	Détail de la liaison entre le bâti et le mât vertical. Éléments du commerce.

1- Introduction

La société COMABI est spécialisée dans le matériel pour le travail en hauteur (échafaudages, etc....). Elle fabrique et commercialise en particulier une gamme constituée de deux nacelles élévatrices (Turbo F7 et Turbo F9).

L'objet de cette étude porte sur la nacelle Turbo F7.



Le Turbo F7 est une nacelle automotrice offrant une liberté d'action grâce à son mât doublement articulé.

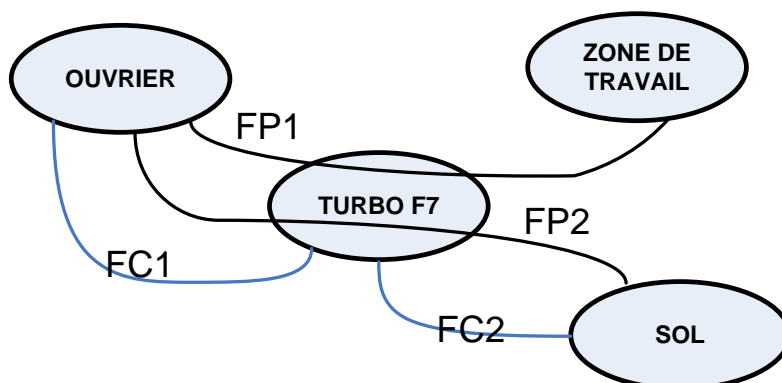
En mode replié, elle se faufile avec aisance dans des endroits exigus.

D'une grande maniabilité, l'opérateur pilote son déplacement depuis le panier avec précision. La technologie utilisant un mât pendulaire articulé sur un mât vertical permet par combinaison des deux mouvements d'atteindre des hauteurs de travail conséquentes.

Le déport admissible est optimisé par la stabilité du châssis.

2- Présentation de la TURBO F7

2.1-Diagramme partiel des interacteurs :



FP1 : permettre à l'utilisateur de s'élever vers la zone de travail

FP2 : permettre à l'utilisateur de se déplacer par rapport au sol

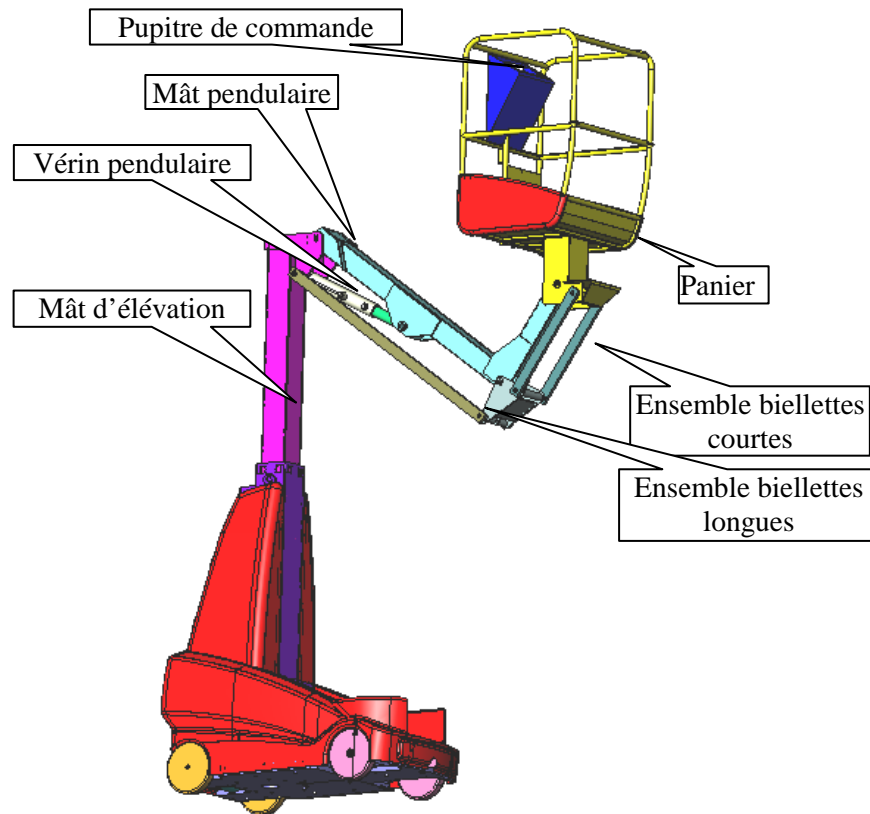
FC1 : sécuriser l'opérateur

FC2 : être stable sur le sol

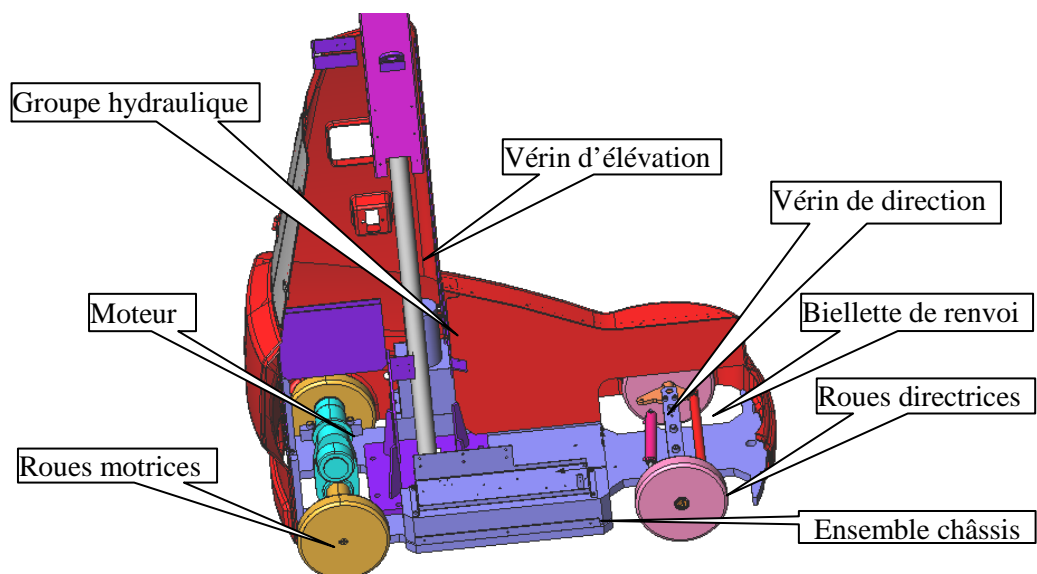
2.2-Structure générale

Le Turbo F7 est composé d'un mécanisme d'élévation par rapport au châssis et d'un mécanisme de motorisation au sol.

Mécanisme d'élévation :



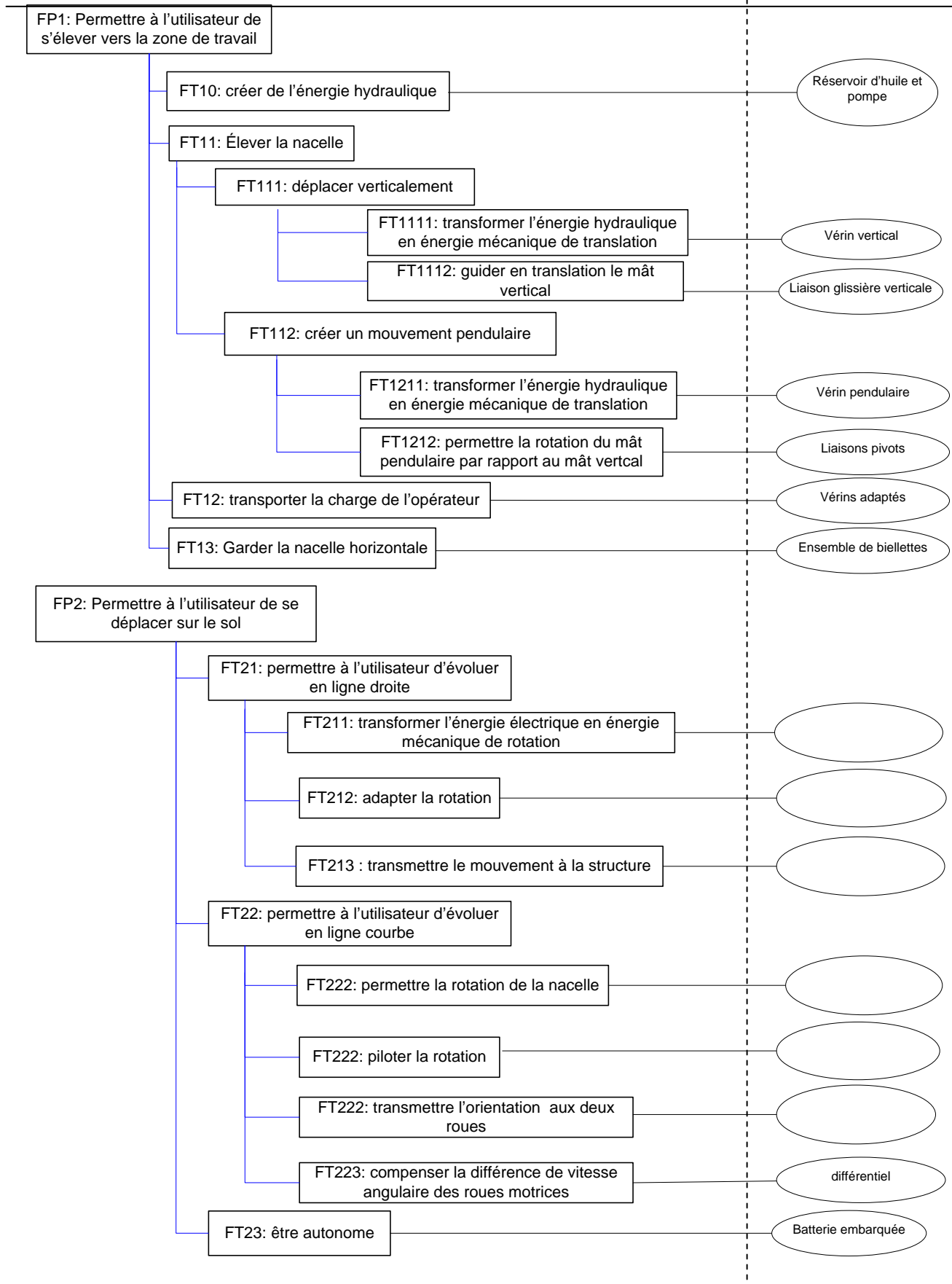
Mécanisme de motorisation :



2.3-Diagramme FAST partiel :

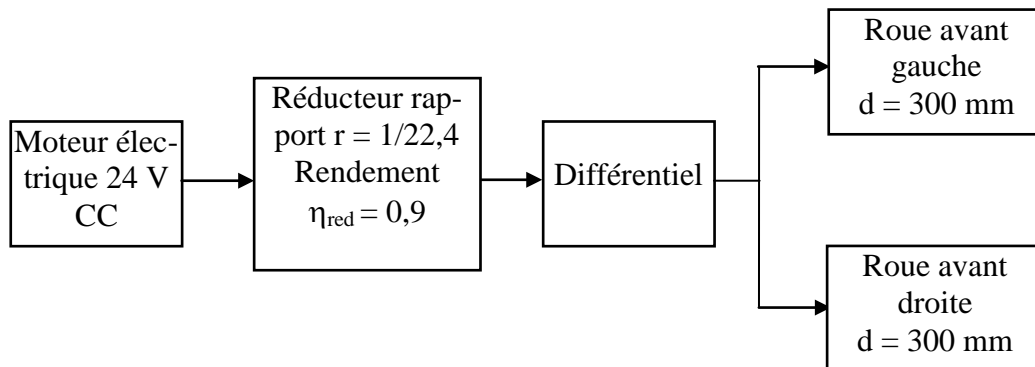
Fonctions techniques

Solutions constructives



2.4-Décomposition en blocs fonctionnels

Le schéma blocs ci-dessous illustre la transmission de puissance du moteur électrique vers les roues motrices.



3- Cahier des charges fonctionnel de la TURBO F7

Fonction	Critère	Niveaux	Flexibilité
FT11 Élever la nacelle	Hauteur de travail	7 m max	$\pm 10 \%$
	Hauteur de plancher	5 m max	Aucune
	Dévers de travail	$1,5^\circ$	Aucune
FT12 Supporter l'opérateur	Charge maxi	120 kg	Aucune
FT21 Permettre à l'utilisateur d'évoluer en ligne droite	Vitesse de déplacement en position dépliée	0,8 km/h	$\pm 5 \%$
	Vitesse de déplacement en position repliée	4 km/h	$\pm 5 \%$
	Pente admissible en position repliée	20°	Aucune
FT22 Permettre à l'utilisateur d'évoluer en ligne courbe	Rayon de braquage des roues motrices	0,7m	$\pm 1 \%$
	Rayon de braquage des roues directrices	2 m	$\pm 1 \%$
FT23 Être autonome	Autonomie de travail en utilisation normale	10 h	$\pm 10 \%$

Caractéristiques de la motorisation :

Alimentation : 24 V CC.

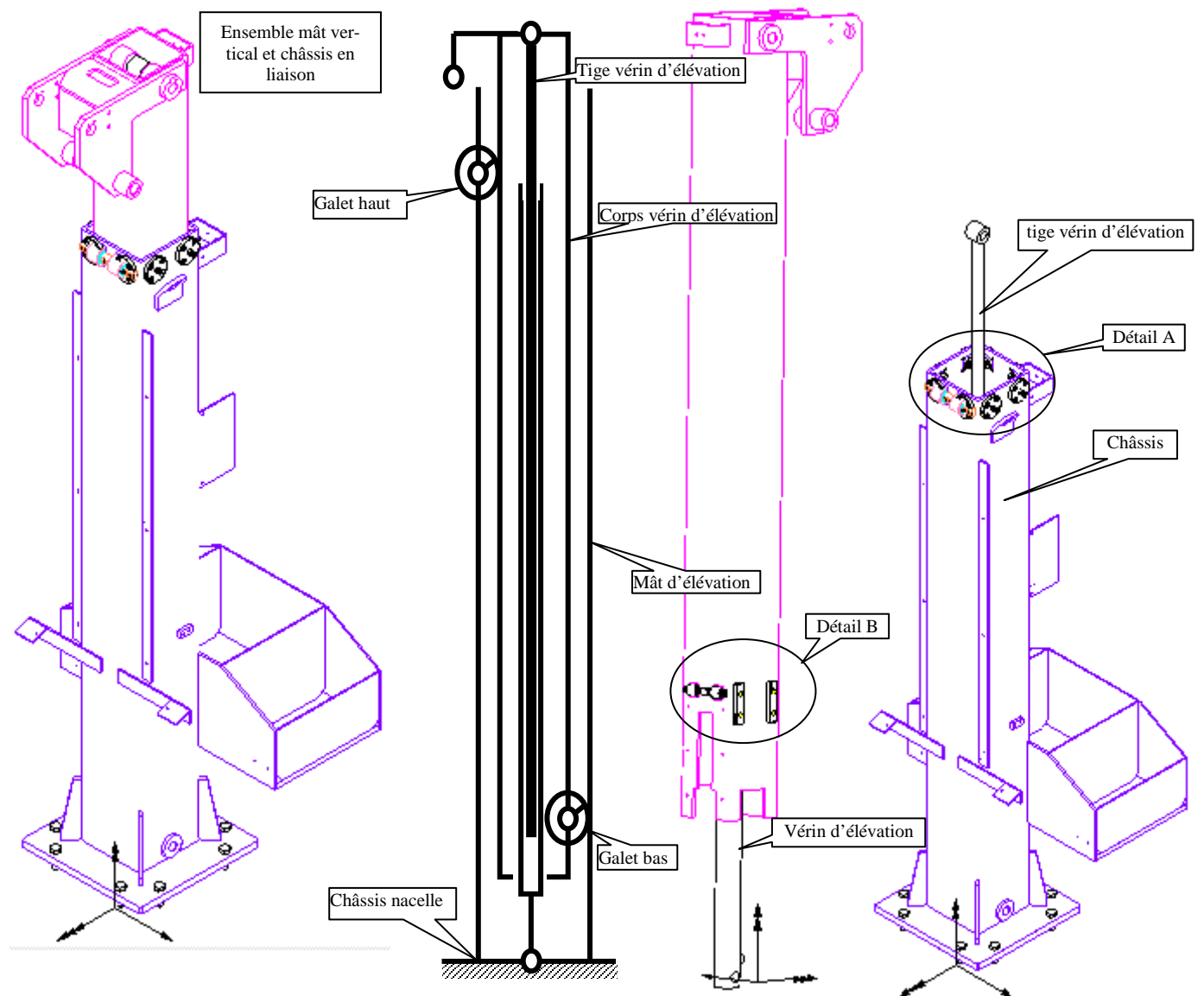
Puissance maxi : $P_m = 6 \text{ kW}$

Vitesse de rotation : $N_m = 1\,580 \text{ tr/mn}$

Caractéristiques du réducteur :

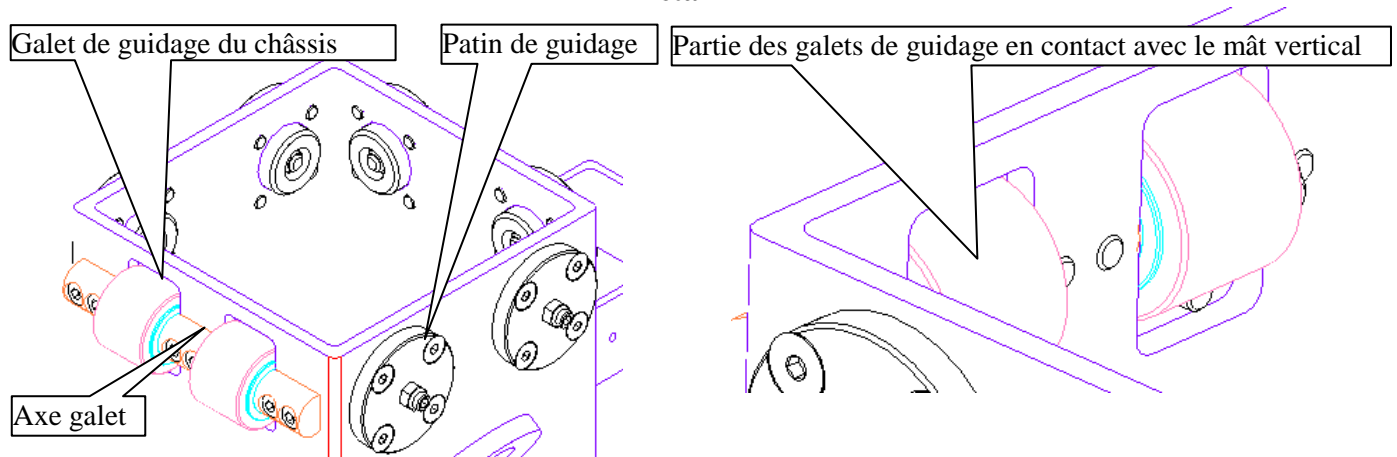
- Rapport de réduction $r = 1/22,4$
- Rendement $\eta_{red} = 0,9$

4- Détail de la liaison entre le bâti et le mât vertical

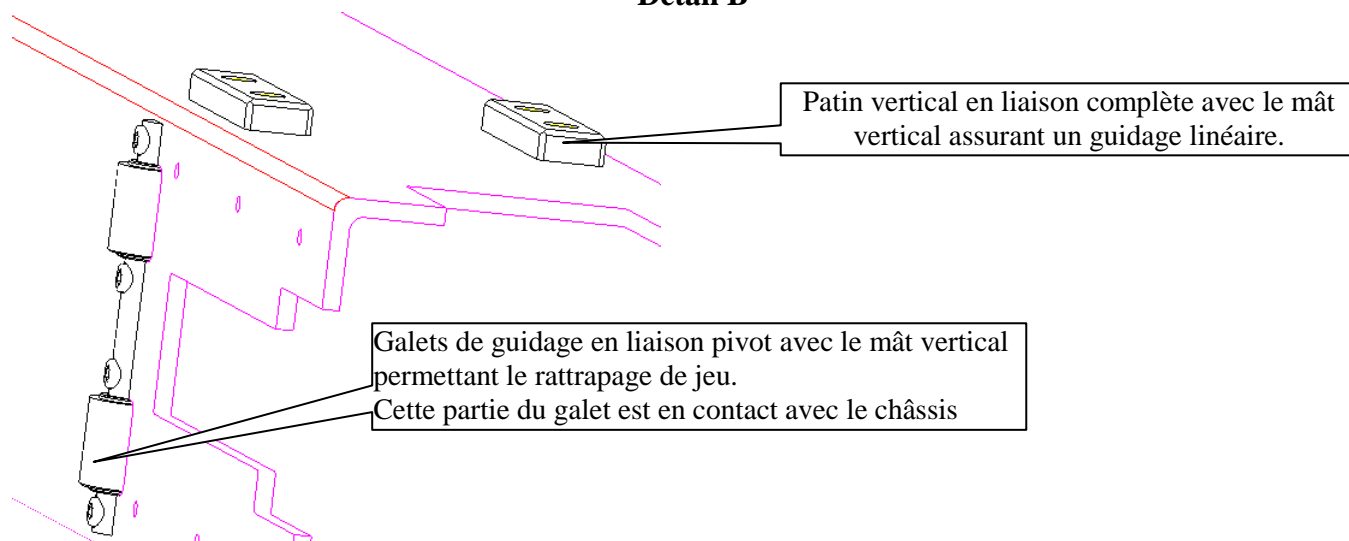


Les composants industriels qui participent à la liaison entre le mât vertical et le châssis sont présentés dans les vues de détail A et B :

Détail A



Détail B



5- Extrait de document constructeurs

Anneaux élastiques pour arbre, NF 22-163

D1 en mm	D2 en mm	e en mm	Largeur de la rainure sur l'arbre en mm	Force axiale en daN
10	9,6	1	1,1	150
12	11,5	1	1,1	225
14	13,4	1	1,1	315
15	14,3	1	1,1	390
16	15,2	1	1,1	480
18	17	1,2	1,3	675
20	19	1,2	1,3	755
25	23,9	1,2	1,3	1 040
30	28,6	1,2	1,6	1 590

DOSSIER "TRAVAIL DEMANDÉ"

Le sujet est composé de 5 parties indépendantes.

Ce dossier comporte feuilles numérotées de 1/7 à 7/7.

Il est conseillé de consacrer à chacune des parties la durée suivante :

Lecture du dossier et des documents techniques	20 min
Partie 1 : étude du fonctionnement du TURBO F7	45 min
Partie 2 : vérification de la stabilité de la nacelle	35 min
Partie 3 : étude du comportement cinématique du châssis	60 min
Partie 4 : étude de la transmission de puissance au démarrage	35 min
Partie 5 : étude fonction contrainte : sécuriser l'opérateur de la nacelle	45 min

Pour toutes les parties, lorsque c'est spécifié, répondre sur les documents réponse. Dans le cas contraire, répondre sur feuille de copie.

I Étude du fonctionnement du TURBO F7

Cette étude n'a pour objectif que de présenter au candidat le fonctionnement et l'architecture du système étudié dans ce sujet : la nacelle automotrice à mât vertical et déport articulé.

Question 1-1 : compléter le diagramme FAST du document DR1 en nommant les solutions constructives qui participent à la réalisation de la fonction de service FP2.

Question 1-2 : identifier, à partir du FAST et de la vue de détail **DT5**, la liaison normalisée qui modélise la liaison réalisée entre le châssis et le mât vertical.

Justifier votre choix sur le document DR1 et dessiner sa représentation sur le document DR2 dans la zone à compléter.

Hypothèses d'étude :

- les solides sont supposés indéformables.
- le repère $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ est le repère fixe lié au châssis considéré immobile.
- le système admet le plan (\vec{x}, \vec{y}) comme plan de symétrie.
- le mât vertical est considéré en position haute.
- les liaisons de centre A, B, C, D, E, F, H et G sont des liaisons pivots parfaites, de centre le point et d'axe \vec{z} .
- la position de 4 par rapport à 2 évolue entre deux positions extrêmes :
 - o position la plus basse orientée de 90° dans le sens trigonométrique par rapport à l'horizontale
 - o position la plus haute, orientée de 50° dans le sens horaire par rapport à l'horizontale

Question 1-3 : validation de la fonction technique FT11 : élever verticalement la nacelle.

Question 1-3-1 : quelle est la nature du mouvement de la biellette 3 par rapport à 2 ? Justifier.

Tracer en rouge la trajectoire de $T_{D,3/2}$ sur le DR2.

Question 1-3-2 : quelle est la nature du mouvement de l'équerre 7 par rapport à 4 ? Justifier.

Tracer en bleu la trajectoire $T_{D,7/4}$ sur chacune des configurations étudiées sur le DR2.

Question 1-3-3 : tracer le point **D** pour la position la plus haute sur le DR2.

Question 1-3-4 : en justifiant la méthode utilisée, tracer le point **E** pour la position la plus haute sur le DR2.

Question 1-3-5 : quelle est la nature du mouvement de la biellette 8 par rapport à 7 ? Tracer en vert la trajectoire $T_{G,8/7}$ sur le DR2.

Question 1-3-6 : en justifiant la méthode utilisée, tracer le point **G** pour la position la plus haute.

Pour un déplacement vertical maximum du vérin d'élévation de 1 370 mm, le mât vertical atteint une hauteur maximum de 3 mètres (côte indiquée sur le document DR2).

Question 1-3-7 : Quelle est la hauteur totale H atteinte par le plancher de la nacelle ? Cette valeur est elle conforme avec le cahier des charges ?

II Vérification de la stabilité de la nacelle

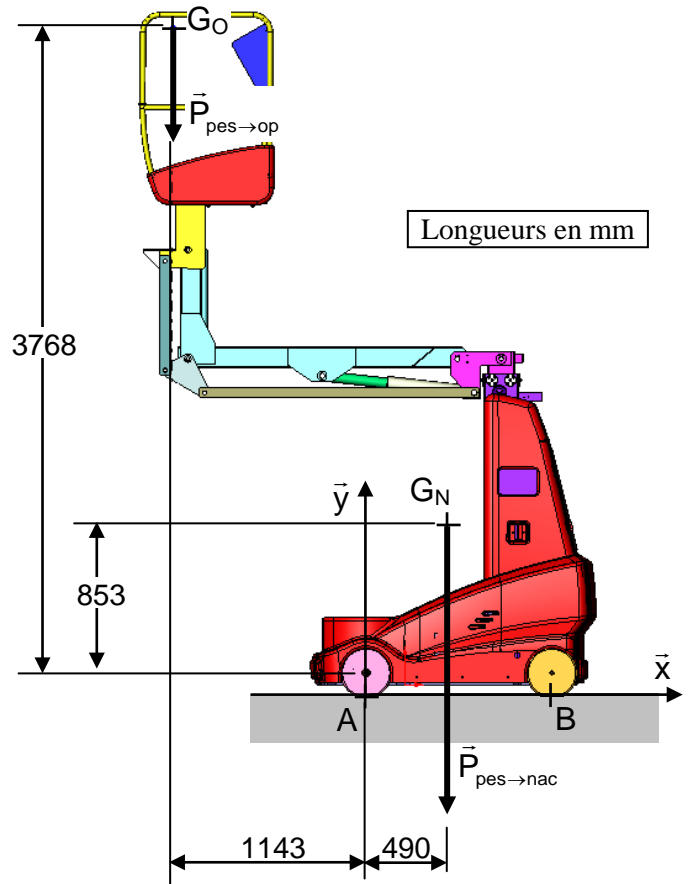
Cette étude a pour objectif de déterminer la charge maximale que peut embarquer la nacelle dans la situation la plus défavorable et de comparer cette valeur avec celle annoncée par le constructeur.

Hypothèses et données :

- Le système matériel isolé est constitué de $S = \{\text{Nacelle} + \text{Opérateur}\}$;
- Pour cette étude, on se placera à la limite du basculement vers l'arrière. Dans cette situation, l'action mécanique de contact du sol sur les roues avant en B devient nulle ;
- Le système est considéré comme plan avec pour plan de symétrie (A, \vec{x}, \vec{y}) ;
- La masse de la nacelle à vide est de $m_N = 1\,080\text{ kg}$;
- Le centre de gravité de la nacelle à vide est G_N ;
- La masse de l'opérateur est notée m_O ;
- Le centre de gravité de l'opérateur est placé en G_O ;
- Le poids de l'opérateur sera modélisé par la résultante

$$\vec{P}_{\text{pes} \rightarrow \text{op}} = \begin{pmatrix} 0 \\ -m_{\text{op}} \cdot g \\ 0 \end{pmatrix}_{(A, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

- L'accélération de la pesanteur est $g = 10\text{ m/s}^2$;
- Le contact en A et B est supposé de type ponctuel.



Question 2-1 : pourquoi la position de la figure ci-jointe avec le mât pendulaire à l'horizontale, est-elle la plus critique au regard du risque de basculement vers l'arrière ?

Question 2-2 : donner les composantes de la résultante modélisant le poids $\vec{P}_{\text{pes} \rightarrow \text{nac}}$ de la nacelle à vide dans le repère (A, \vec{x}, \vec{y}) . En déduire le moment en A du poids de la nacelle $\vec{M}_{A_{\text{pes} \rightarrow \text{nac}}}$.

Question 2-3 : déterminer le moment en A du poids de l'opérateur $\vec{M}_{A_{\text{pes} \rightarrow \text{op}}}$.

Question 2-4 : déterminer l'équation de moment du principe fondamental de la statique (PFS) en projection sur l'axe (A, \vec{z}) et en déduire la valeur de la masse de l'opérateur à partir de laquelle l'équilibre de la nacelle devient instable.

Le constructeur annonce une capacité maximale de 120 kg correspondant à une personne avec son outillage.

Question 2-5 : au regard du résultat obtenu à la question 2-4, quel est le coefficient de sécurité s adopté par le constructeur ?

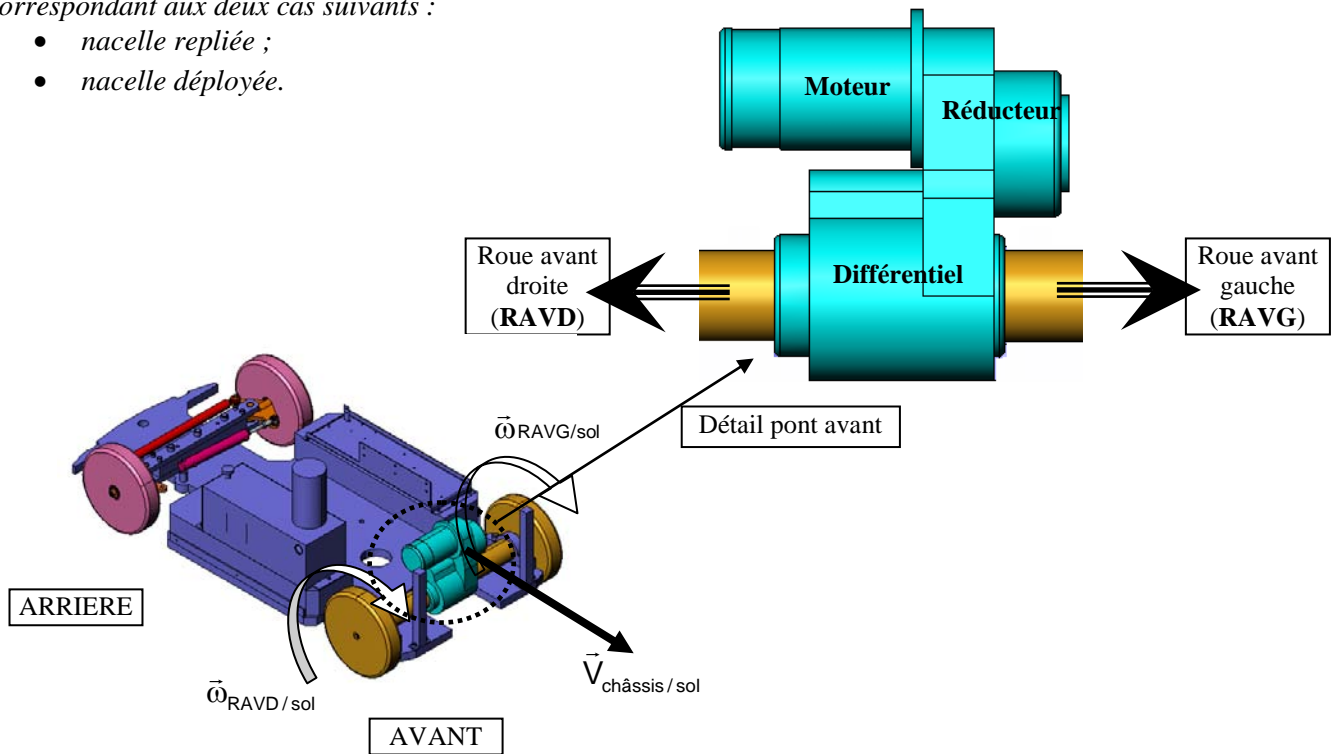
Question 2-6 : le critère du cahier des charges concernant la charge maximale est-il validé ? Justifier.

III Comportement cinématique du châssis

A. Situation n°1 : déplacement en ligne droite

Cette étude a pour objectif de déterminer la vitesse de rotation du moteur pour les deux modes de fonctionnement correspondant aux deux cas suivants :

- nacelle repliée ;
- nacelle déployée.



Remarque : le différentiel n'a aucune incidence sur la chaîne cinématique lorsque la nacelle se déplace en ligne droite. Son intérêt sera mis en évidence lors de l'étude suivante, en situation de virage.

Question 3- A 1 : lors d'un déplacement en ligne droite, que peut-on dire des vitesses angulaires des deux roues avant $\omega_{RAVG/sol}$ et $\omega_{RAVD/sol}$? Justifier.

On rappelle le diamètre des roues $d = 300 \text{ mm}$

Question 3- A 2 : déterminer la relation liant la vitesse horizontale du châssis de la nacelle $\|\vec{V}_{châssis/sol}\|$ et la vitesse angulaire des roues avant $\omega_{RAV/sol}$.

Suivant le cas de fonctionnement, le châssis de la nacelle peut atteindre les vitesses maximales suivantes :

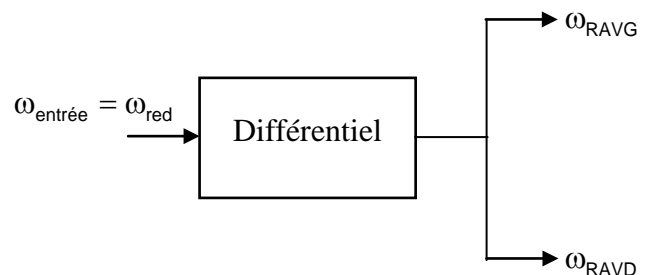
- Nacelle repliée : $\|\vec{V}_{1\text{ châssis/sol}}\| = 4 \text{ km/h}$ soit **1,11 m/s** ;
- Nacelle déployée (quelque soit la hauteur du panier) : $\|\vec{V}_{2\text{ châssis/sol}}\| = 0,8 \text{ km/h}$ soit **0,22 m/s**.

Question 3- A 3 : calculer la vitesse angulaire des roues avant pour les deux cas de fonctionnement : $\omega_{1RAV/sol}$ et $\omega_{2RAV/sol}$.

L'entrée et les sorties cinématiques d'un différentiel peuvent être schématisées comme ci-contre.

D'autre part, quelque soit l'angle de braquage des roues directrices, il permet de toujours vérifier la loi :

$$\omega_{RAVG} + \omega_{RAVD} = 2.\omega_{entrée}$$



Question 3- A 4 : à partir de cette relation, montrer qu'en ligne droite $\omega_{\text{entrée}} = \omega_{\text{RAV}}$.

Question 3- A 5 : à partir des caractéristiques du réducteur (voir DT4), exprimer de manière littérale la vitesse angulaire du moteur ω_m en fonction de la vitesse angulaire des roues avant.

Question 3- A 6 : application numérique : calculer la vitesse de rotation du moteur pour les deux cas de fonctionnement en rad/s puis en trs/mn ω_{1m} et ω_{2m} .

Note : le module de gestion de la nacelle est programmé pour alimenter le moteur avec une tension maximale compatible avec les vitesses calculées précédemment. La détermination de ces tensions ne fait pas partie de cette étude.

B. Situation n°2 : déplacement en virage

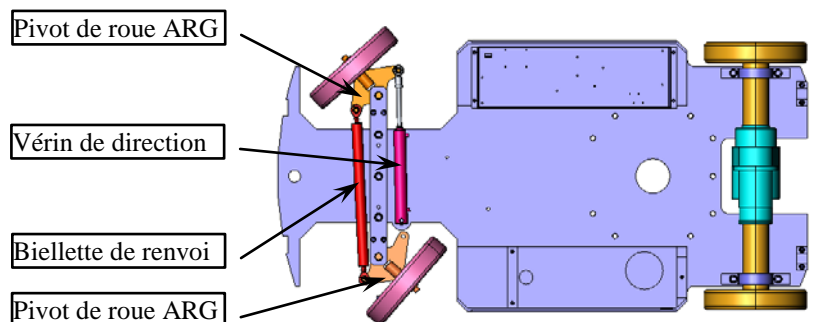
Cette étude a pour objectif :

- de vérifier l'intérêt du différentiel en situation de virage ;
- d'analyser le phénomène de *ripage** des roues directrices.

* Ripage : glissement latéral d'une des roues directrice par rapport à l'autre.

La mise en rotation du châssis de la nacelle est obtenue par rotation des deux pivots de roues arrière autour d'un axe vertical. Cette rotation est réalisée grâce à un vérin hydraulique de direction qui provoque la rotation du pivot arrière gauche. Simultanément, la biellette de renvoi provoque la rotation du pivot arrière droit.

L'étude sera menée pour un braquage maximal des roues arrière et pour une vitesse de nacelle de 1,11 m/s (vitesse de déplacement maximale).



Question 3-B 1 : sur le document réponse DR3, tracer la direction du vecteur vitesse $\vec{V}(C_{\text{châssis}/\text{sol}})$. Connaissant le vecteur vitesse $\vec{V}(O_{\text{châssis}/\text{sol}})$ modélisant la vitesse du châssis, déterminer et tracer le centre instantané de rotation (C. I. R.) $I_{\text{châssis}/\text{sol}}$ du châssis dans son mouvement par rapport au sol.

Question 3-B 2 : à partir du centre instantané de rotation (C. I. R.) $I_{\text{châssis}/\text{sol}}$, par la méthode de votre choix, déterminer les vecteurs vitesse $\vec{V}(A_{\text{châssis}/\text{sol}})$ et $\vec{V}(B_{\text{châssis}/\text{sol}})$ (une méthode graphique est conseillée). En déduire la norme de ces deux vitesses $\|\vec{V}(A_{\text{châssis}/\text{sol}})\|$ et $\|\vec{V}(B_{\text{châssis}/\text{sol}})\|$, puis calculer la vitesse angulaire des deux roues avant $\omega_{\text{RAVG}/\text{sol}}$ et $\omega_{\text{RAVD}/\text{sol}}$.

Dans cette situation d'étude, la vitesse angulaire de l'arbre de sortie du réducteur est $\omega_{\text{red}} = 7,33 \text{ rad/s}$.

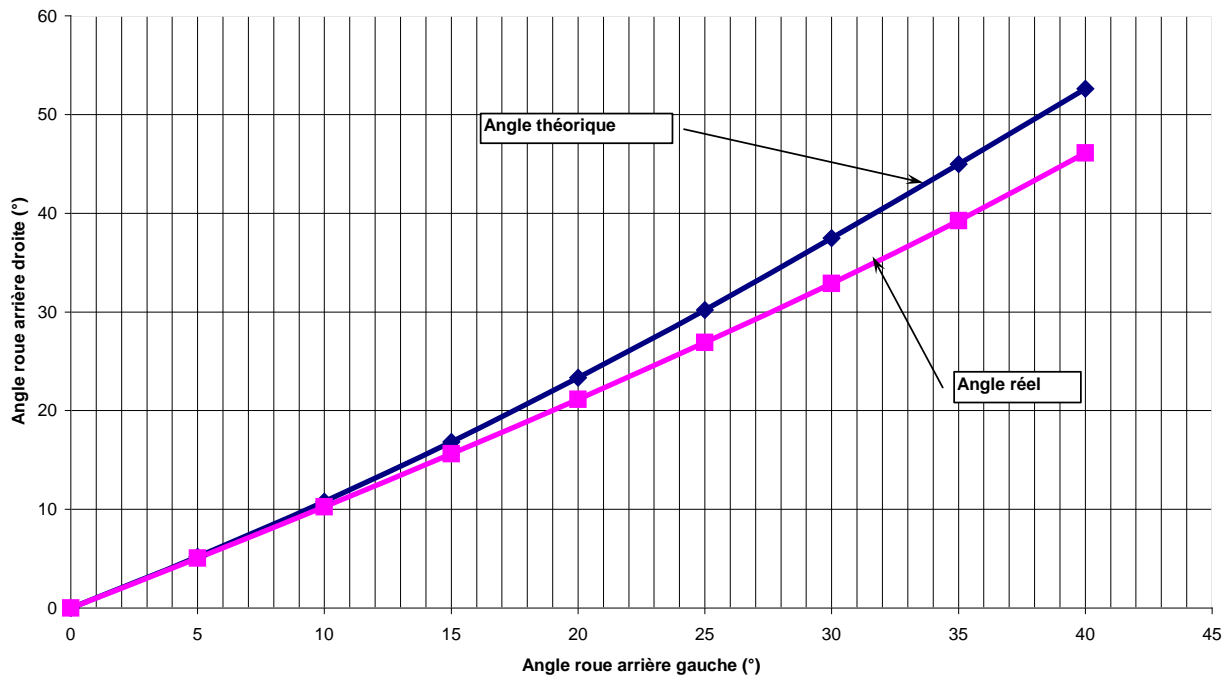
Question 3-B 3 : la relation caractéristique évoquée en Q3- A 3 est-elle vérifiée ? En déduire la fonction du différentiel dans ce pont de transmission de puissance ?

Question 3-B 4 : sur le document réponse DR3, à partir du centre instantané de rotation (CIR) tracé précédemment, déterminer la direction du vecteur vitesse théorique $\vec{V}(D_{\text{châssis}/\text{sol}})_{\text{théorique}}$. Après avoir comparé cette direction avec l'orientation réelle de la roue arrière droite, en déduire les conséquences de cet écart sur la tenue au sol de la nacelle et sur l'usure des gommages (enveloppe externe en caoutchouc des roues).

Le graphe ci-après donne deux courbes :

- Le résultat d'une étude théorique montrant l'évolution que doit suivre l'angle de la roue arrière droite en fonction de l'angle de la roue arrière gauche pour avoir une parfaite tenue de route ;
- L'évolution réelle de l'angle de la roue arrière droite en fonction de l'angle de la roue arrière gauche.

Angle de braquage des roues



Plus l'écart entre les deux courbes est important, plus le phénomène de ripage sera significatif et se répercute sur la tenue au sol et l'usure des gommages.

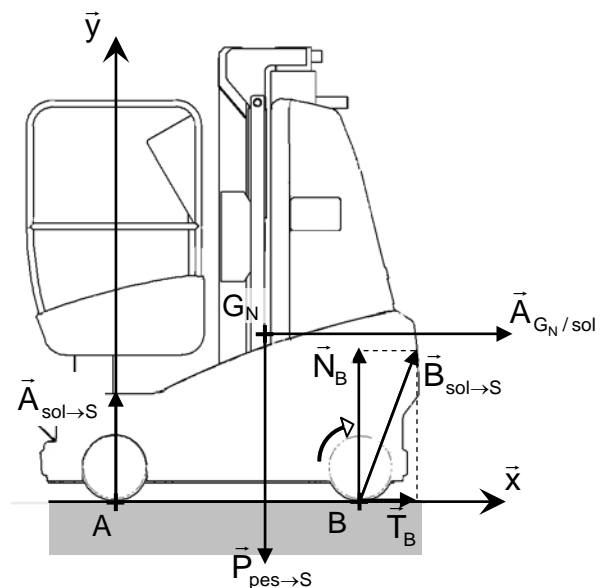
Question 3-B 5 : dans quelle situation de fonctionnement le phénomène de ripage est-il le plus important ? Justifier.

IV Étude de la transmission de puissance au démarrage

Cette étude a pour objectif de vérifier que la puissance du moteur est intégralement transmise aux roues en phase de démarrage, puis de déterminer la puissance motrice maximale dans cette phase.

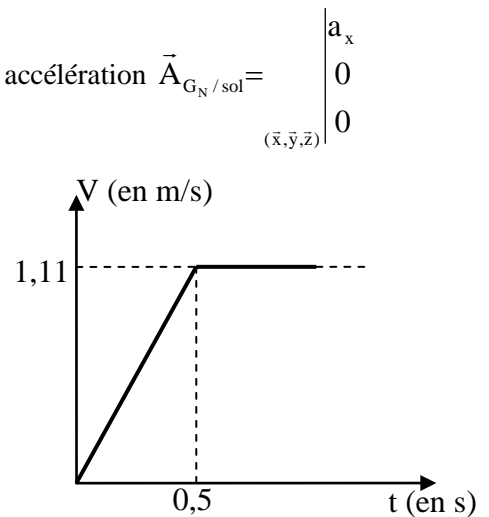
Hypothèses et données :

- Le système matériel isolé est constitué de $S = \{\text{Nacelle} + \text{Opérateur}\}$;
- La masse du système isolé S est $m_s = 1\,200\text{ kg}$;
- En position repliée et en phase de démarrage, les actions mécaniques sur le système isolé sont modélisées comme ci-contre avec :
 - Action mécanique de la pesanteur sur S : $\vec{P}_{\text{pes} \rightarrow S}$;
 - Action mécanique du sol sur les roues arrière : $\vec{A}_{\text{sol} \rightarrow S}$;



- Action mécanique du sol sur les roues avant : $\vec{B}_{\text{sol} \rightarrow S} = \begin{pmatrix} T_B \\ N_B \\ 0 \end{pmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$ avec $N_B = 7\,200\text{ N}$;

- L'accélération du système matériel S est modélisée par le vecteur accélération $\vec{A}_{G_N / \text{sol}} = \begin{pmatrix} a_x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$
- En phase de démarrage, le démarrage de la nacelle doit respecter le graphe de vitesse ci-contre ;
- Le coefficient de frottement du contact entre les roues et le sol est de $f = 0,6$.



Question 4-1 : calculer l'accélération a_x de la nacelle en phase de démarrage.

Question 4-2 : appliquer le théorème de la résultante dynamique en projection sur l'axe (A, \vec{x}) et en déduire l'effort tangentiel T_B relatif à l'action mécanique du sol sur les roues avant.

Question 4-3 : sur le document réponse DR4, en utilisant l'échelle des forces imposée, tracer \vec{T}_B , \vec{N}_B puis la résultante $\vec{B}_{\text{sol} \rightarrow S}$.

Question 4-4 : à partir du tracé de la question précédente, déterminer si les roues motrices de la nacelle sont en adhérence ou non lors de la phase de démarrage.

Pour la suite de l'étude, on adoptera $T_B = 2\,700\text{ N}$. On rappelle que les roues ont un diamètre $d = 300\text{ mm}$.

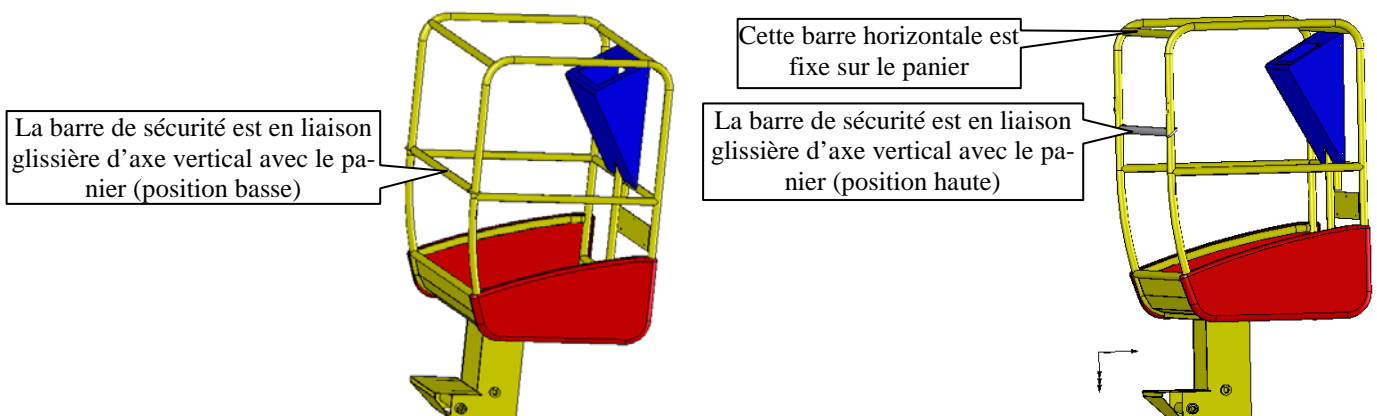
Question 4-5 : à partir de l'effort tangentiel T_B sur les roues motrices, calculer la puissance P_{roues} transmise par le contact des roues sur le sol en fin de démarrage.

Question 4-6 : en tenant compte du rendement du réducteur (voir document DT4), déduire de la question précédente la puissance mécanique maximale P_{moteur} que doit développer le moteur en phase de démarrage.

Question 4-7 : à partir des caractéristiques de la motorisation (voir document DT4), vérifier que le moteur est correctement dimensionné.

V Étude de la fonction contrainte : sécuriser l'opérateur

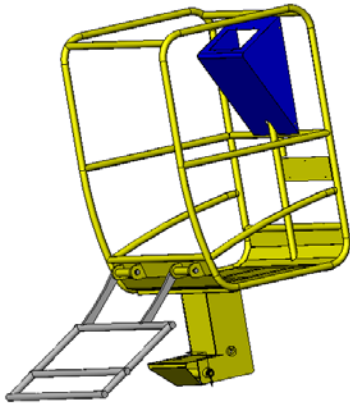
Le concepteur constate que la mise en sécurité de l'ouvrier est fiable mais peu pratique dans sa mise en œuvre. En effet, l'ouvrier doit maintenir la barre de sécurité et s'introduire dans la structure du panier simultanément.



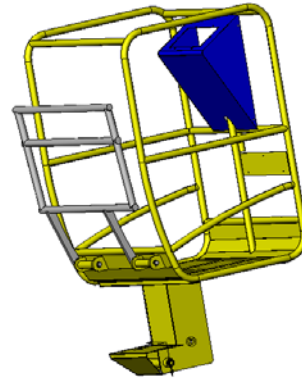
Pour faciliter la montée et descente de l'opérateur dans la nacelle, une nouvelle solution est proposée :

La structure du panier est inchangée, par contre la barre de sécurité est **remplacée** par un portillon. Celui-ci comporte une double fonctionnalité :

- ♦ Faciliter la montée et la descente de l'opérateur (escalier) dans la nacelle lorsqu'il est en position ouverte.
- ♦ Sécuriser le panier lorsqu'il est en position fermée.



Position ouverte



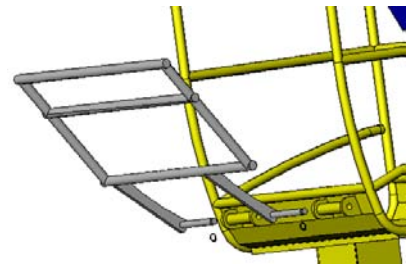
Position fermée

Question 5-1 : sur le document réponse **DR5** :

a/ identifier chacune des surfaces qui participe à la mise en position du portillon sur le panier en lui associant :

- une couleur (vert pour les surfaces principales en superficie de contact et bleu pour les surfaces secondaires).
- une désignation verbale correcte de sa nature en mettant en évidence les axes privilégiés.

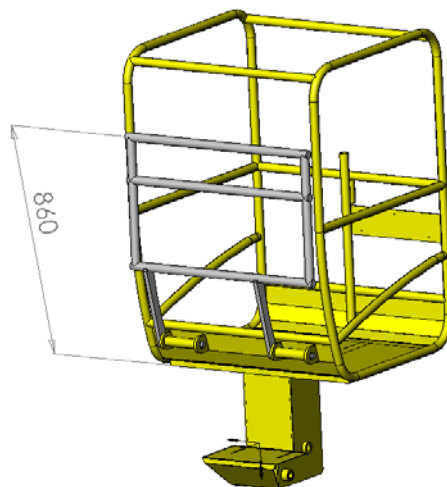
b/ quel est l'élément du commerce qui permettrait le maintien en position ?
Quel est le degré de mobilité du portillon que ce composant maintient bloqué ?



Les normes de sécurité imposent la mise en place d'un système sur de fermeture du portillon.

L'objet de cette étude est de définir les modifications à apporter sur la structure du panier pour pouvoir assurer cette fonction.

La butée permettant de bloquer la rotation du portillon par rapport au panier est réalisée par le rajout de deux éléments de plaque soudés sur le panier à une hauteur de 850 mm. Ces butées sont représentées sur le DR6.



Question 5-2 : en vous appuyant sur les éléments de plaque déjà positionnés et à partir des informations données ci-dessus, représenter sur le DR6 en perspective et à main levée la solution proposée. Cette solution doit représenter les ajouts de matière sur le panier ainsi que les éventuels éléments normalisés nécessaires à la réalisation du verrouillage du portillon.

DOSSIER "DOCUMENTS RÉPONSES"

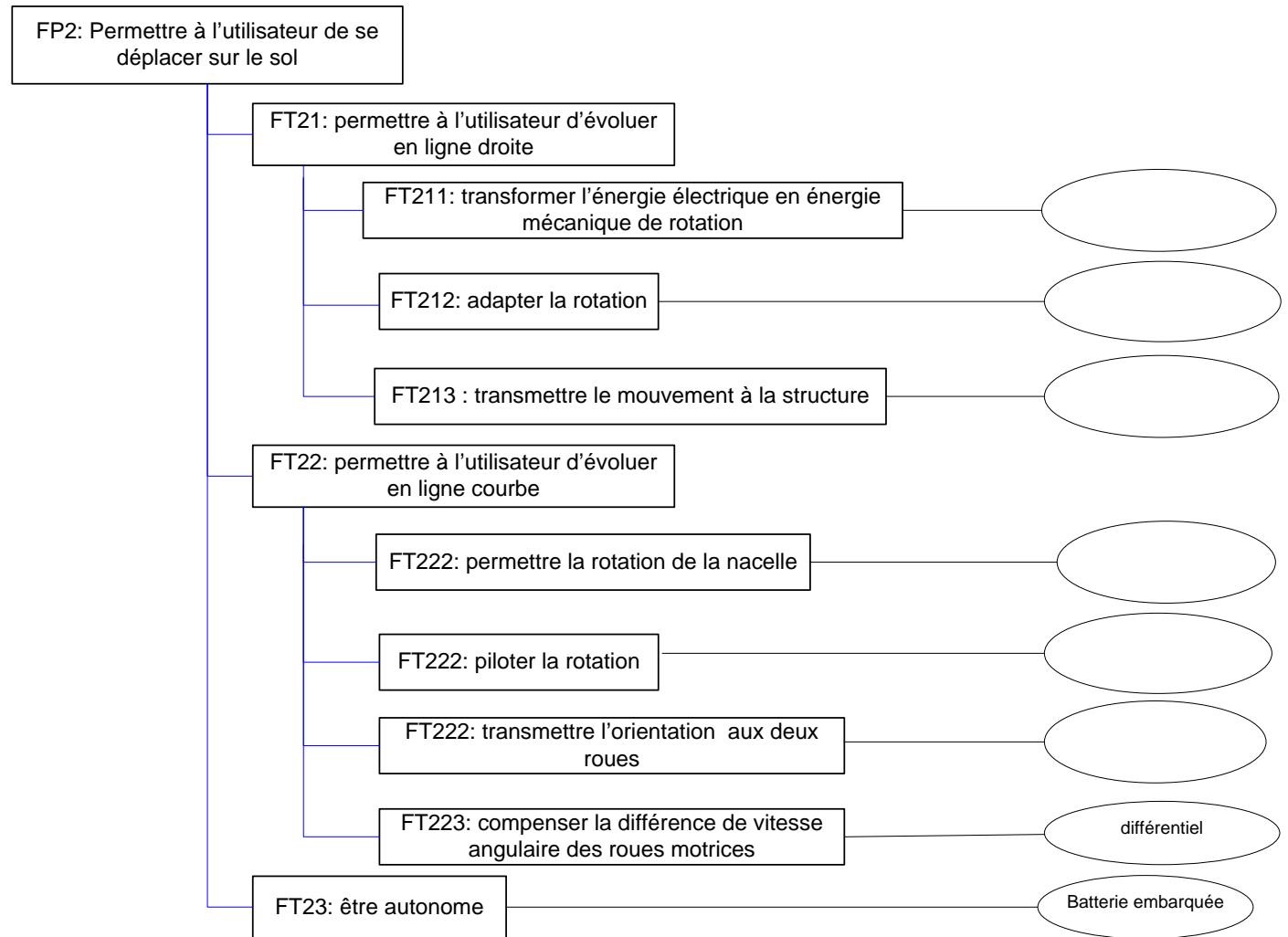
Ce dossier comporte 6 documents numérotés de DR1 à DR6.

DR1	Étude des solutions retenues pour la fonction <i>FP2</i>
DR2	Étude de l'élévation verticale de la nacelle
DR3	Étude du comportement cinématique en virage
DR4	Étude de la transmission de puissance au démarrage
DR5	Étude de la liaison entre le panier et le portillon
DR6	Étude de la mise en sécurité du panier

Tous ces documents, même non remplis, sont à joindre
à la copie en fin d'épreuve.

Document réponse DR1

Question 1-1 :

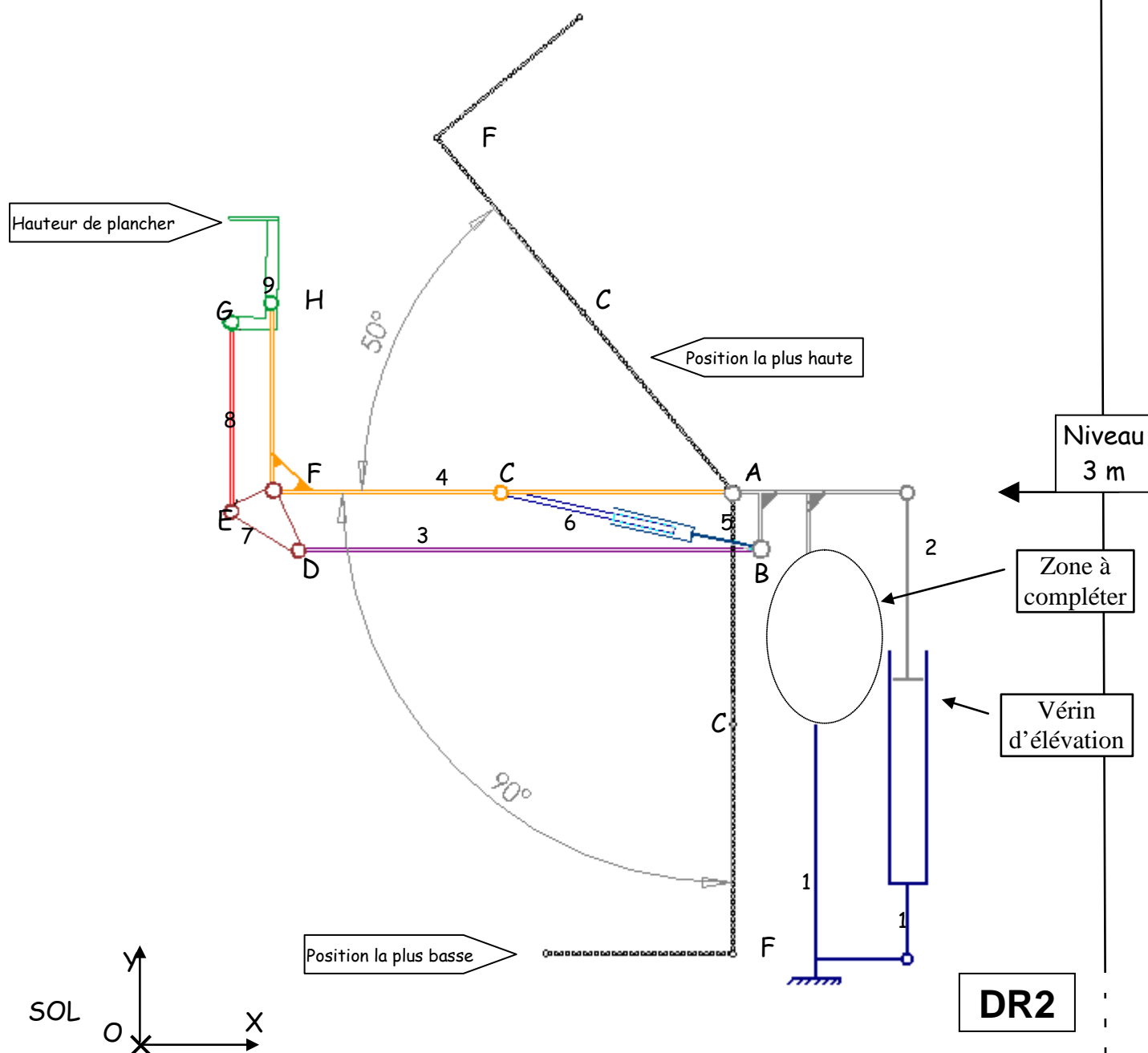


Question 1-2 :

DR1

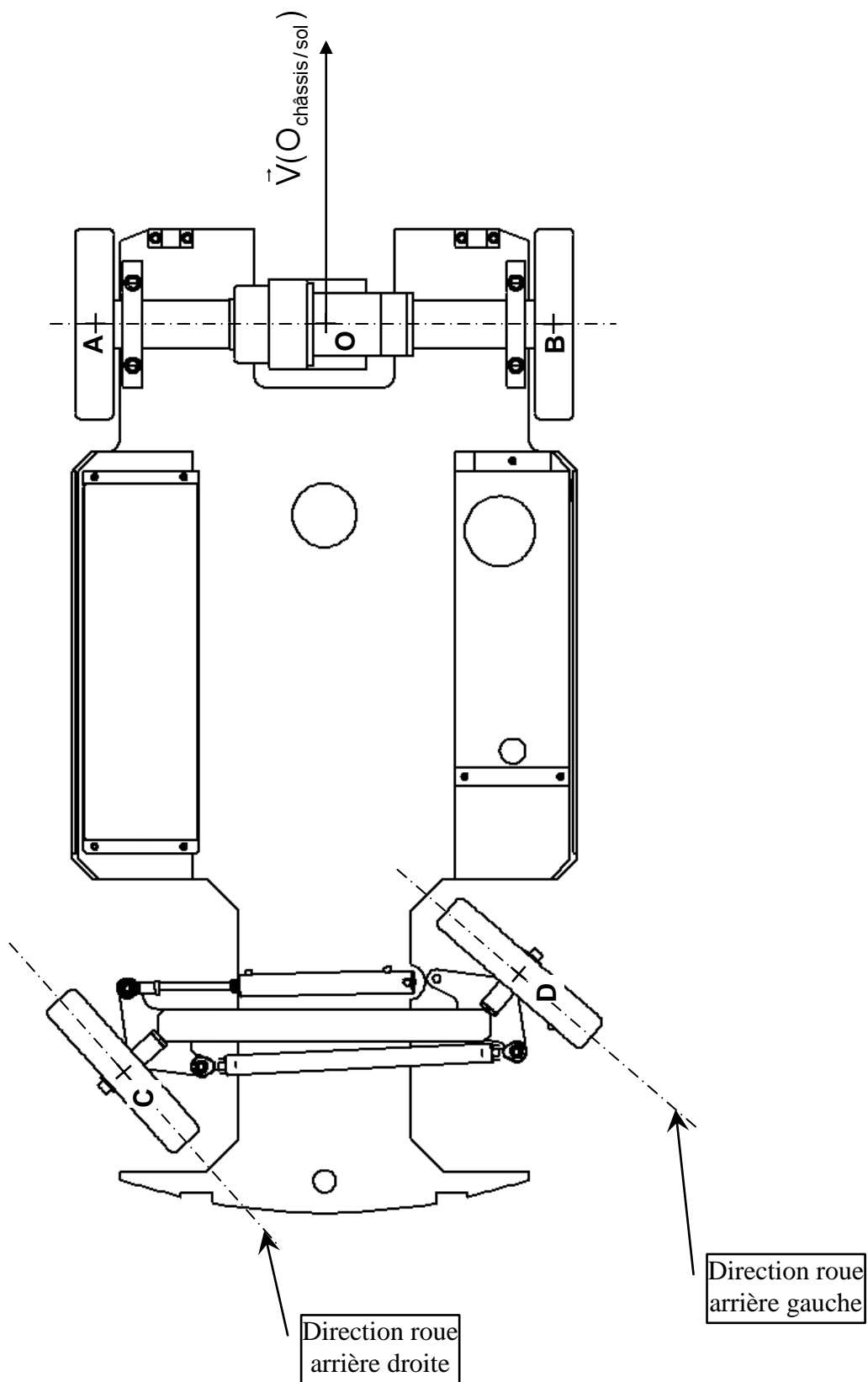
Question 1-3 :

Repère d'élévation de la nacelle
Échelle des longueurs : 1 : 20



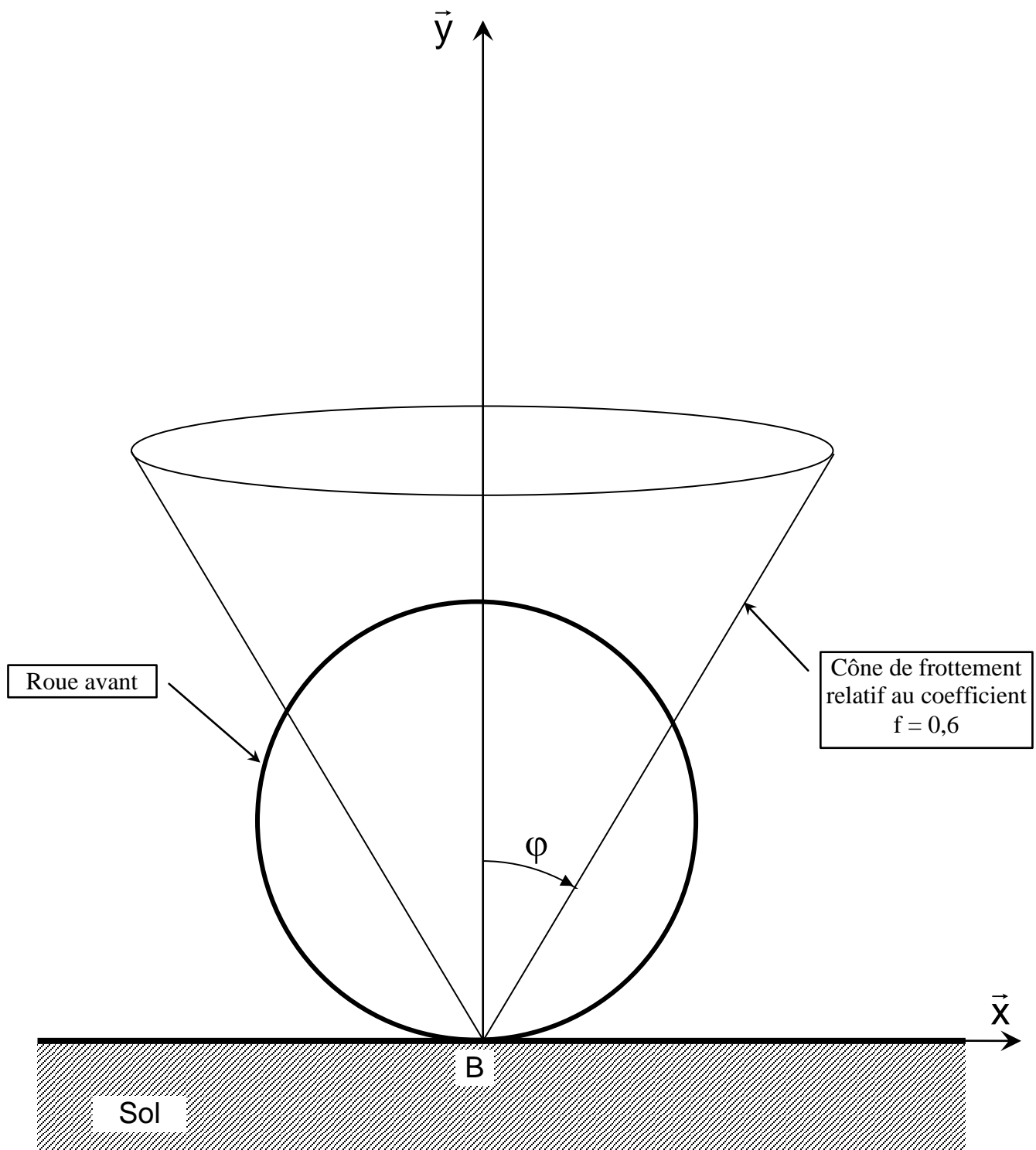
N°	désignation	3	Biellette longue				
1	Châssis	4	Mât pendulaire	6	Tige de vérin	8	Biellette courte
2	Mât vertical	5	Corps de vérin	7	Équerre	9	Plancher nacelle

Échelle des vitesses 1 cm = 0,25 m/s
Échelle des longueurs 1 : 10



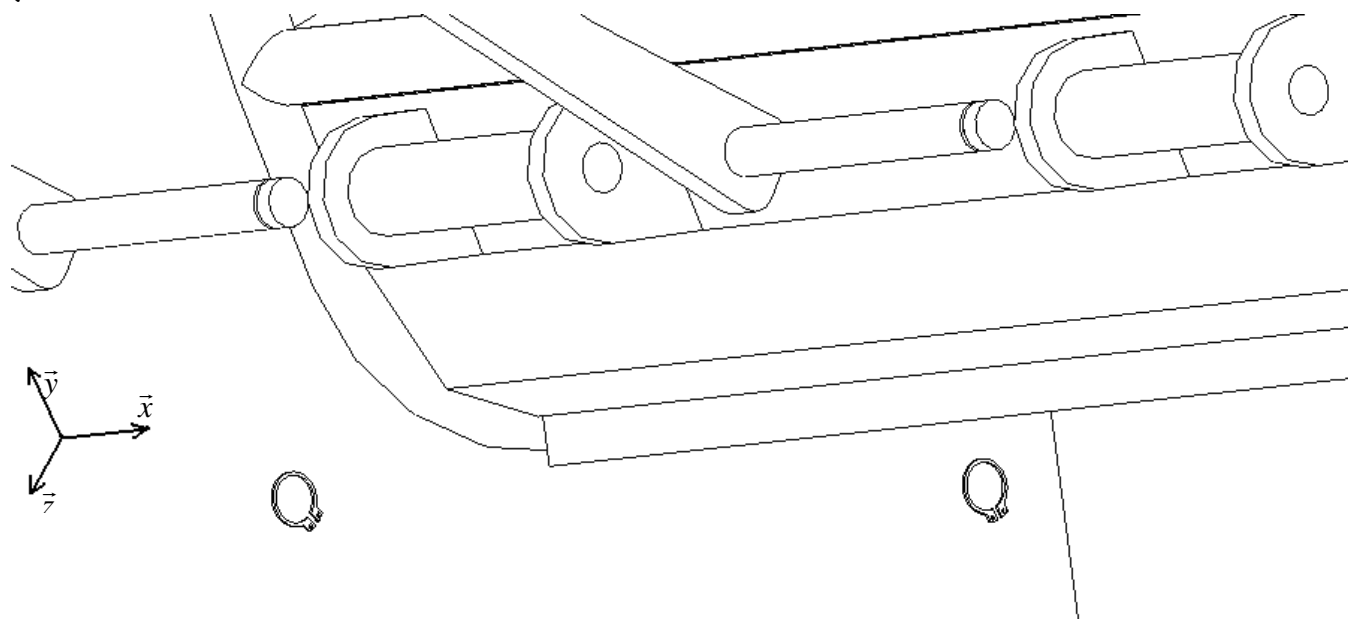
DR3

Échelle des forces 1 cm = 500 N
Échelle des longueurs 1 : 4



DR4

Question 5-1 :



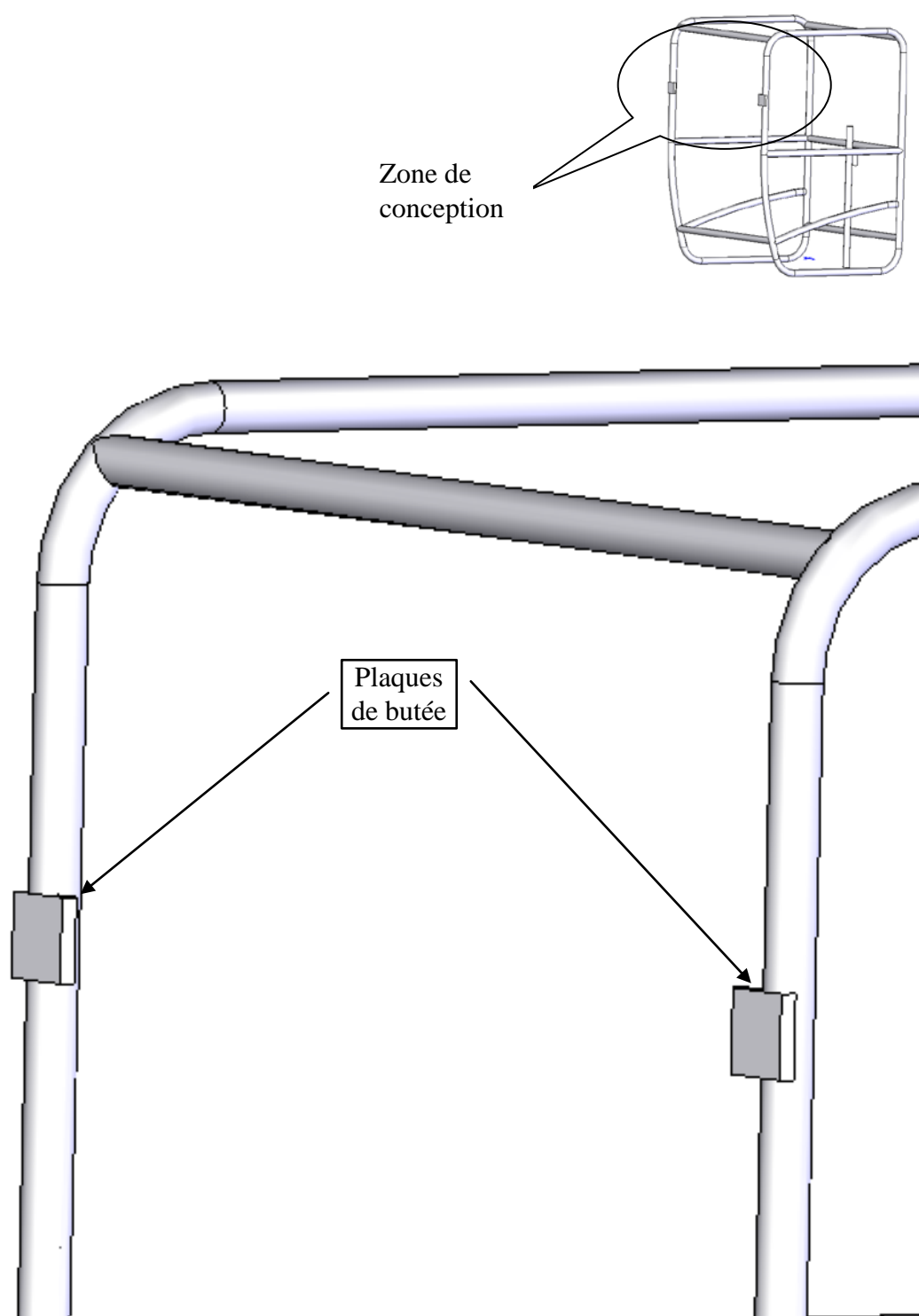
a/ nature des surfaces principales de mise en position :

nature des surfaces secondaires de mise en position :

b/ réalisation du maintien en position :

DR5

Question 5-2 :



DR6